

天聞

中華民國109年 春季號



中研院天文所季報
ASIAA Quarterly Press
<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>

2019

諾貝爾物理獎



隨機漫步在宇宙的科學家

皮博斯

作者 蔣龍毅



當 2019 年 10 月 8 日在瑞典斯德哥爾摩的皇家科學院宣布皮博斯 (James Peebles) 為今年諾貝爾物理學獎得主，網路世界如臉書、推特等都紛紛響起一片實至名歸的讚譽。過去三個跟宇宙學相關的諾貝爾獎都授予觀測成就，如 1978 年頒給觀測到宇宙微波背景輻射 (CMB)、2006 年觀測到 CMB 的黑體形式及細微的異

向性及 2011 年的宇宙加速膨脹。Peebles 是首位獲頒諾貝爾獎的理論宇宙學家，以表彰他在宇宙物理學 (Physical Cosmology) 的理論貢獻。

Peebles 的研究生涯也確實幾乎等同於宇宙物理學理論建立的過程。他曾經在訪談提到自己的研究生涯如同隨機漫步 (random walk)，不喜歡一輩

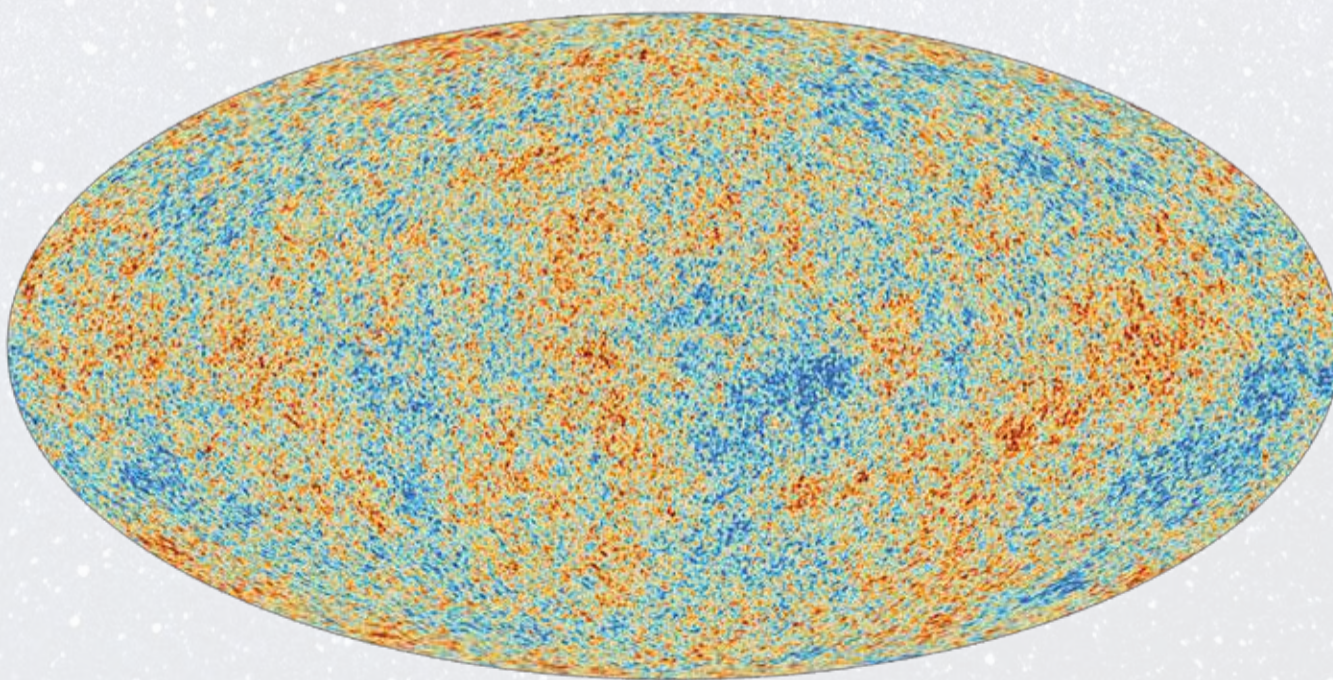
子只追求單一研究主題，因此很難指出一項劃時代的發現。但他對宇宙學的貢獻是全面性的，從 CMB 理論的逐步建立，暗物質、暗能量、到宇宙大尺度結構的演化，都有他漫步的足跡。

現今宇宙演化模型

自古以來人類對宇宙的好奇都侷限在神學或哲學性的思辨。

到了上個世紀初，宇宙學隨著近代物理從最小尺度的粒子物理學到最大尺度的廣義相對論發展逐步建構而成。現今所廣為接受的宇宙演化模型稱為「具宇宙常數的冷暗物質」(LambdaCDM) 模型，說明宇宙年齡為 138 億年，含有 5% 的一般物質，26% 暗物質，以及 69% 暗能量。

宇宙極早期經歷暴脹 (Cosmic Inflation)，把原先已達成熱平衡的區域膨脹，造成 CMB 的同向性。隨著溫度下降，宇宙經歷了多次相變過程產生許多基本粒子 (物質)。宇宙從大霹靂開始至此歷經了 38 萬年物質與光子脫離耦合 (decoupling) 且變得透明，早期宇宙演化的特徵就印記在這些光子，經宇宙膨脹成為 CMB。而脫耦合的物質在重力的影響漸漸聚集成星系及星系團等。原本慢下來的宇宙膨脹在約 50 億年前，由於暗能量的影響下開始加速膨脹至今。



普朗克衛星 2018 年所公布之溫度異向性分佈，影像上的色彩細微變化代表背景輻射在 2.725 K 的微小溫度起伏。根據大霹靂理論，這些對應著早期宇宙物質分布的細微差異，是現今所觀測到的星系、星系團及宇宙大尺度結構的種子。

© ESA/Planck Collaboration

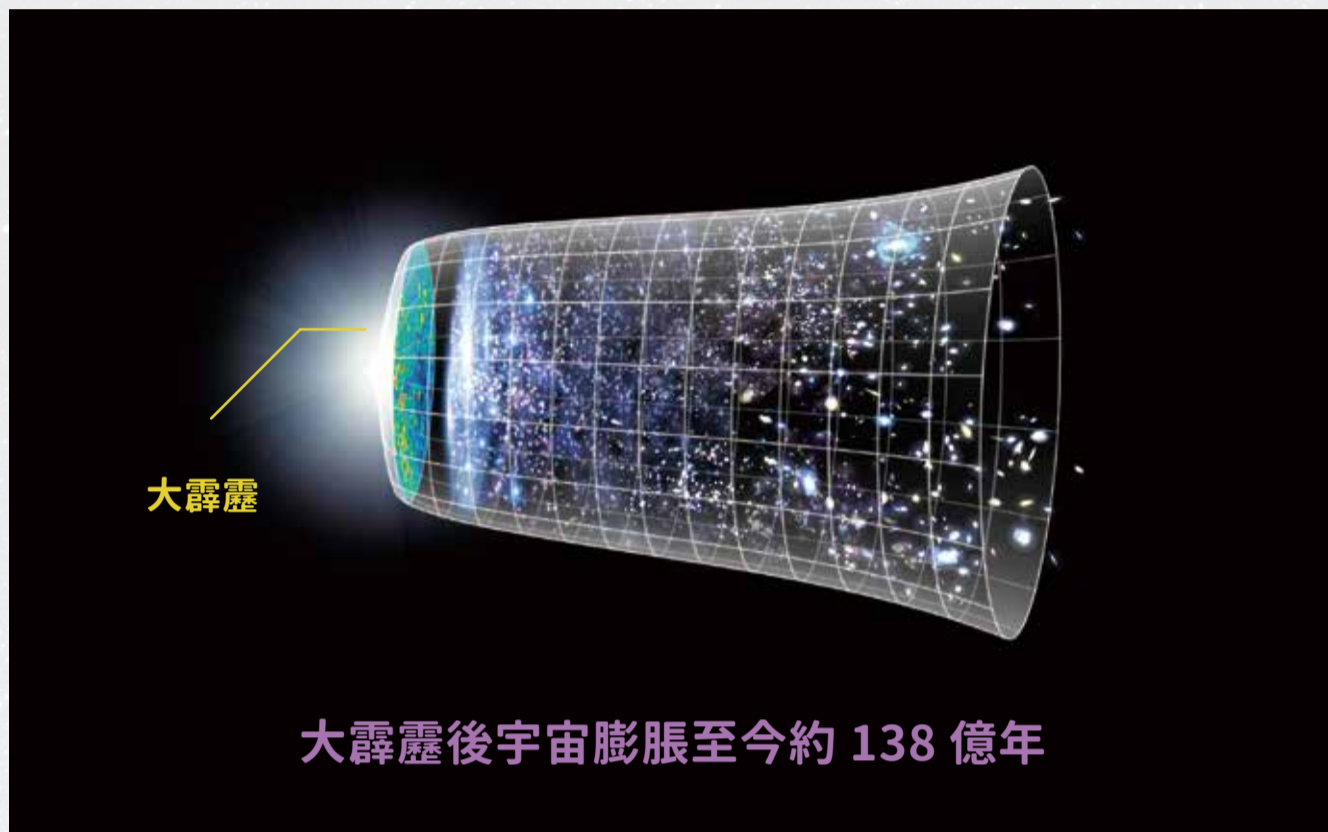
追逐 宇宙微波背景輻射

其實 Peebles 在 50 年前就曾與諾貝爾獎失之交臂。1950 年代，科學家在兩個宇宙演化理論，大霹靂模型及穩態宇宙理論之間爭論不休。大霹靂指的是宇宙從極度高溫態降溫膨脹；穩態宇宙論則認為宇宙的密度在動態中大致保持恆常。此僵局在 1965 年，由於彭季爾斯 (A. Penzias) 和威爾森 (R. Wilson) 兩位貝爾實驗室科學家發現 CMB 而被打破。

在大霹靂理論大獲全勝之後，科學家了解宇宙具有演化特性，Peebles 開始思考宇宙大尺度結構的來源與演化。他是第一批了解到現有物質在重力塌縮之下仍不足以形成現在觀測到的星系及星系團的科學家，也大膽猜想了 CMB 在 3 K 細微的異向性及大尺度結構的關聯性。

電腦模擬 宇宙演化及暗物質

在個人電腦還未誕生的年代，Peebles 是首批利用超級電腦模擬宇宙演化的科學家。他在 1969 年就使用位於新墨西哥州洛色拉莫士 (Los Alamos) 國家實驗室電腦模擬星系在重力吸引下移動，而僅 300 個星系的模擬卻跑了一整個週末！另外在 1970 年代天文學界發現一個奇怪現象，在螺旋星系邊緣的恆星繞行速度遠超出



宇宙演化之具宇宙常數的冷暗物質模型。© NASA / WMAP science team

牛頓定律的預期，懷疑星系中有看不見的「暗物質」存在。Peebles 於是跟同事 J. Ostriker 利用當時非常初階的電腦模擬暗物質的存在，並在 1974 年發表論文證實「普通星系的質量被低估至少 10 倍以上」。

回顧歷史，當初咸認最有可能組成暗物質的粒子是微中子 (neutrino)，由於速度接近光速，故稱為熱暗物質 (Hot Dark Matter, HDM)。但科學家隨即發現，熱暗物質作為宇宙大尺度結構的主要參與作用物質，會形成一種稱為「由上而下」(Top-down) 的結構產生順序，也就是先產生超大星系團，然後裂解成星系團及星系。但這樣的結構產生順序會導致宇宙大尺度結構非常不均勻，與觀測不符。

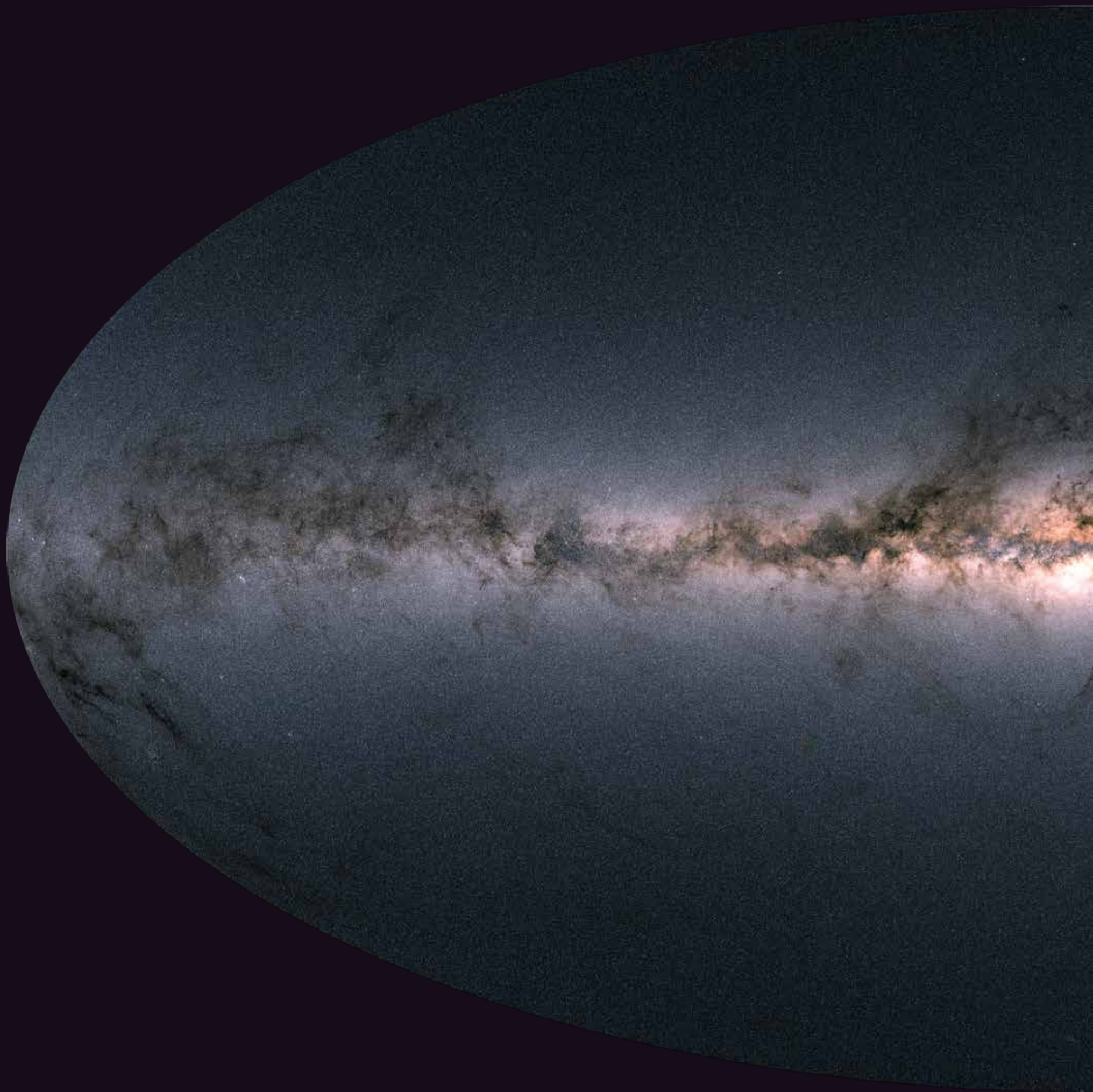
於是 Peebles 在 1982 年首先提出了冷暗物質的宇宙模型。冷暗物質 (Cold Dark Matter, CDM) 是一種假設性的暗物質，之所以稱為「冷」，是因為此暗物質移動速率遠小於光速。在冷暗物質的宇宙模型中，由少量物質在重力下塌縮先合併在一起，結構由下而上層層增長 (Bottom-up)，形成越來越巨大的結構。雖然目前仍未發現組成冷暗物質的粒子，但此冷暗物質模型較符合觀測結果。他隨即在 1984 年提出具宇宙常數的冷暗物質模型，成為當今成功描述宇宙起源及演化的標準模型。

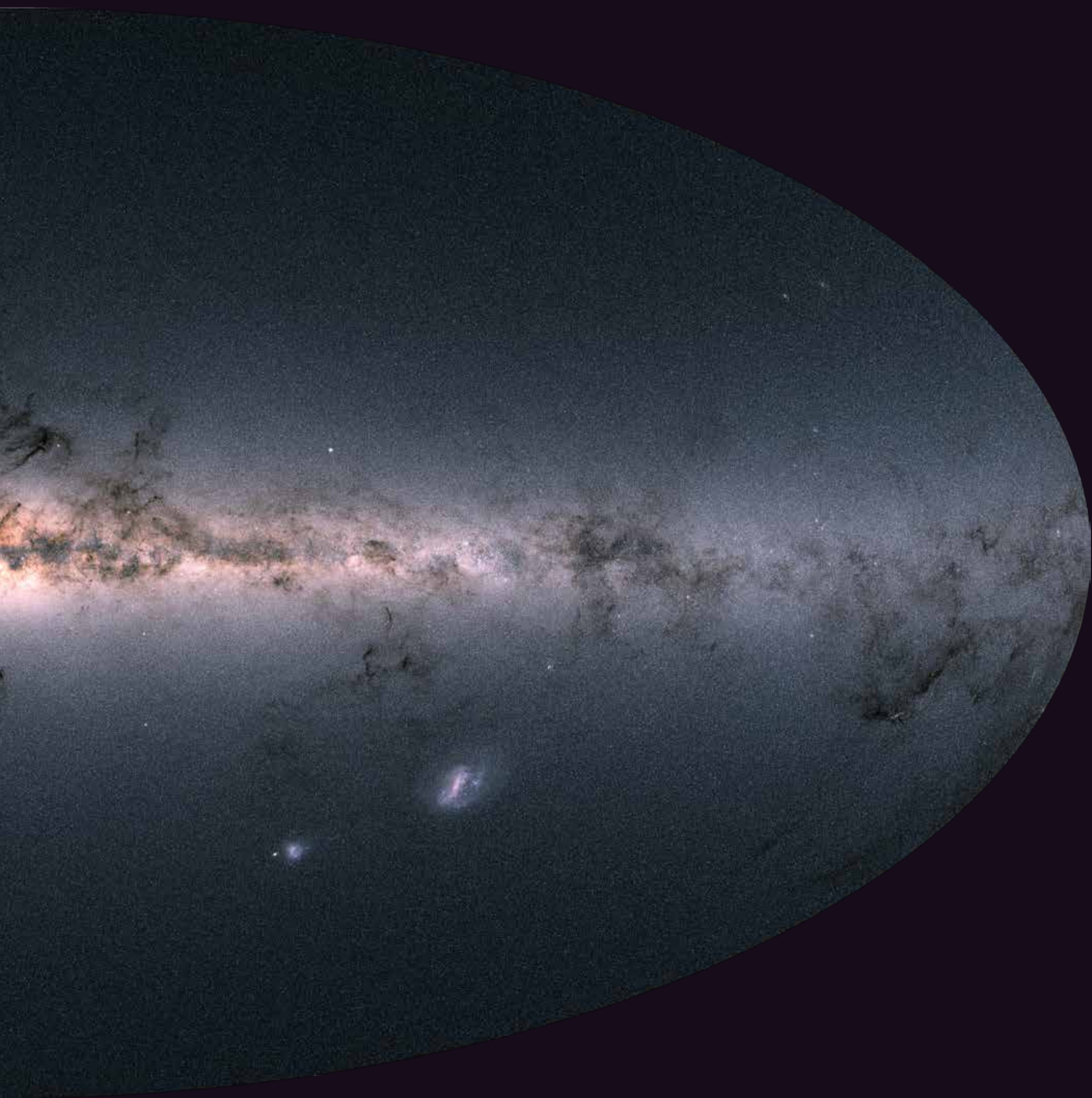
實至名歸的 諾貝爾獎得主

宇宙學是宇宙的考古學，相對

於其他學門是十分新興的領域。英國的天文物理學家 G. McVittie 在 1956 年曾說「宇宙學的本質是統計學」，但即使到 1980 年初的星系巡天測量也只有 2200 個星系紅移數據。Peebles 在宇宙學理論、觀測及模擬都貧瘠缺乏的時代，在 1971 年出版了「宇宙物理學」教科書，將當初泛稱為重力物理研究統合聚焦為一門可觀測研究的學科。

就如同瑞典皇家科學院的讚譽：「Peebles 對宇宙物理學的洞察力豐富了整個研究領域，在過去的 50 年中打下堅實的基礎，將原本只是猜想假設塑型成一門科學。他在 70 年代開始發展的宇宙學理論框架，成為當今我們對宇宙了解的基礎」。





Gaia 衛星拍攝的銀河系全景照，本圖包含 17 億顆恆星。
© ESA/Gaia/DPAC

梅爾師徒之 獵星英雄傳

作者 辜品高

2019年諾貝爾物理學的一半獎金，由兩位瑞士天文學家梅爾（Michel Mayor）和奎洛茲（Didier Queloz）所共享，以表彰他們對於瞭解地球在宇宙地位的貢獻。1995年，時為日內瓦大學（Université de Genève）教授的梅爾和他的博士生奎洛茲，首次發現一顆環繞類似太陽恆星的系外行星。

獲獎宣布之後，奎洛茲接受英國廣播公司新聞頻道（BBC News）訪問表示無法相信自己能獲獎，畢竟在過去的25年，世人雖然都認為此為諾貝爾獎等級的發現，但始終都獎落別人家，因此他也逐漸淡忘是否能得獎。事實上，過去獲得諾貝爾獎的天文學家，大部分都與宇宙論或是重力場有關，即使在今年，另一半的物理學獎還是頒給宇宙論的理論大將皮博斯（James Peebles）。

這是一場 以小搏大的較量

直接觀測從系外行星發出來的光相當困難，主要的原因是母恆星的強大輻射完全吞噬行星的光。看不到行星，但是否有其它辦法知道它們的存在？

兩個天體可以因彼此的重力，互相繞著共同質心運轉。所以當行星環繞恆星的時候，恆星同時也環繞著行星，只不過行星的質量遠比母恆星的質量小，以小搏大的結果，造成恆星環繞的動作相當不明顯。舉例來說，太陽會以大約每秒10公尺的速度環繞著和木星彼此間的質心運轉。當恆星在做週期性環繞運動時，它的光譜會呈現周而復始的紅移和藍移現象，即都卜勒效應。而要觀測到如此微小的都卜勒光譜位移相當困難。梅爾和奎洛茲突破這項挑戰，發現飛馬座51（51 Pegasi）恆星的光譜有都卜勒效應的週期變化，知道有一顆木星質量的行星環繞著它。

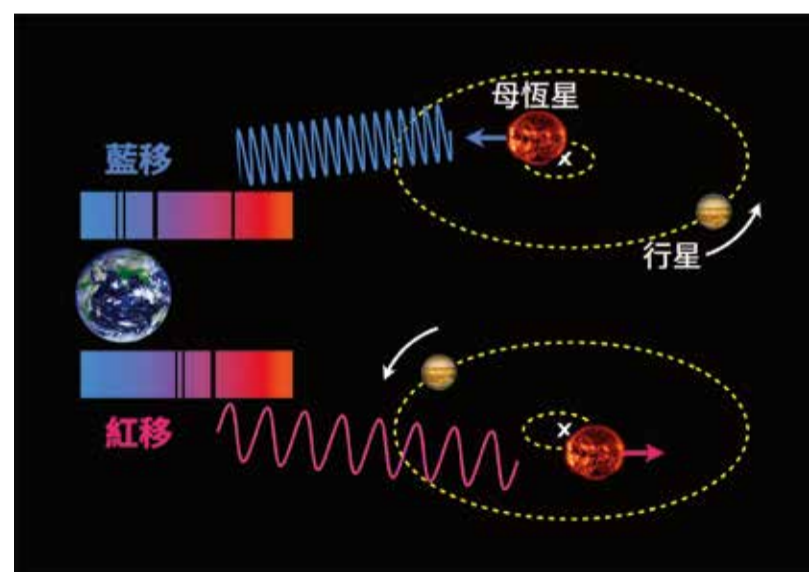
起因於意外的發現

在1990年代之前，除了梅爾和奎洛茲，還有其他團隊也運用相似的方法尋找行星。加拿大和美國團隊相繼尋找系外行星並無所獲，畢竟軌道週期太長，短時間的觀測難有確定的結果。這使得梅爾和奎洛茲感到尋找系外行星的困難，於是他們決定改變研究的策略，尋找環繞恆星的棕矮星。

棕矮星的質量是介於恆星和木星型行星之間的天體，所以引起的母恆星的都卜勒位移更為明顯。當時沒有理論預測棕矮星和恆星的公轉週期，所以梅爾和奎洛茲嘗試著尋找短週期公轉的棕矮星。結果他們發現約50光年之外在飛馬座方向，一顆編號為51且類似太陽的恆星，呈現週期僅4.23天的光譜位移。但這並不是顆棕矮星，而是一顆最低質量約為一半木星質量的行星，它和母恆星之間的距離大約是木星和太陽距離的百分之一。出乎意料之外的結果，之前沒有人認為木星型的行星會以幾天的時間環繞母恆星一次！

美國的馬爾斯（Geoffrey Marcy）團隊很快在一週內確認這顆名為飛馬座51b的存在。在後續的幾年，馬爾斯和梅爾團隊互相競爭，分別找到許多類似的系外行星。這類行星因為離母恆星太近，表面溫度超過1000°C，有別於太陽系寒冷的木星，稱之為熱木星（Hot Jupiters）。

而國際天文聯合會（International Astronomical Union, IAU）在2015年所舉辦的幫系外行星取名的活動中，飛馬座51b被大眾投票取名為Dimidium，該字彙在拉丁文為「一半」，是取其質量僅木星一半之意。



光（電磁波）的都卜勒效應示意圖（未按照比例）。在一特定波長範圍內，特定氣體可有特定位置之吸收線。天體向觀測者靠近時，所有吸收線向短波長處移動，是為「藍移」；天體遠離觀測者時，所有吸收線向長波長處移動，是為「紅移」。可應用於使用恆星光譜尋找系外行星：恆星與行星皆繞其系統質量中心（如圖中x所示）運轉，恆星的圓周運動會造成與地球視線方向上的週期性遠離與靠近，造成光譜的紅移與藍移。© 中研院天文所

系外行星 其實普遍存在

梅爾和奎洛茲的團隊在 2003 年改進都卜勒位移的技術，將整套光譜儀放入一個低溫的真空箱裡，大幅減低熱雜訊，都卜勒精準度達到每秒一公尺，隨後並發現許多小質量的系外行星。包括環繞紅矮星葛利斯 581 (Gliese 581) 的數顆超級地球。紅矮星是質量較小的太陽，很容易受到行星的擾動。天文學家也利用該光譜儀，發現連離太陽系最近的恆星系統，也就是 4 光年外

的南門二的比鄰星 (Proxima Centauri)，都有一顆類似地球的系外行星。因此證實地球其實並不孤獨，梅爾團隊發現平均每兩顆類似太陽的恆星，就擁有一顆行星。

如果系外行星的軌道與人的視線平行，行星會周而復始地擋著母恆星的光，就有行星凌星的現象。梅爾在 2000 年與美國夏邦諾 (David Charbonneau) 等人合作發現第一顆行星凌星的恆星。此結果幫助美國的太空科學家博魯基 (William Borucki) 大

忙，他過去曾被 NASA 拒絕多次的克卜勒太空望遠鏡凌星提案終於被接受。之後克卜勒太空望遠鏡發現將近兩千多顆已確認的系外行星，大多數是軌道很小的超級地球，與太陽系的行星系統截然不同。奎洛茲本身參與若干凌星的計劃，最富盛名的是他和他的前比利時籍學生吉龍 (Michael Gillon) 的團隊，發現在 40 光年之外環繞超冷紅矮星 Trappist-1 的七顆地球大小的行星，其中某些行星可能溫度適中，有機會提供生命存在的海洋環境。

繼續追尋宇宙的未知

行星科學家多年來的觀測證實系外行星的存在，梅爾與奎洛茲及其他團隊的努力，向世人展示原來地球不孤單。本次的諾貝爾獎的殊榮頒發給此項傑出的研究實至名歸，期待後續天文學家能為人們帶來宇宙發展的更多驚奇。

(本文節錄自《科學月刊》第 600 期 <https://bit.ly/39JsOG0>)



筆者 (照片前右一) 曾在參加國際會議中與梅爾 (照片前左二) 一同出遊。© 辜品高

讓台灣也有一顆系外行星：

「麗—水沙連」誕生！

作者 黃珞文



藝術家筆下繞著比鄰星的系外行星表面示意圖。©ESO/M. Kornmesser

由臺灣人提名及投票的系外行星系統，行星「水沙連」、恆星「麗」，正式命名！水沙連 "sázum" 為邵語，意為「水」，現在一般所說的水沙連大約是在南投縣魚池鄉附近，為舊時邵族水社的領域，也就是現今的日月潭週遭。水沙連這個名字結合臺灣著名觀光景點及原住民文化，予人綠水相連的美好系外行星想像。fōrmōsa 為拉丁語中美麗之意，是臺灣的別名，本次命名者單取了「麗」一個字，顯出對臺灣之美的驚歎。

位於獅子座的「麗」恆星，原本的科學編號是 HD1000665，距離太陽系約

449 光年，視星等為 6.45。「水沙連」行星屬於熱木星，質量為木星 1.7 倍，公轉週期為 158 地球日，與母恆星相距 0.76 個天文單位（約 1 億公里）。目前「水沙連」行星是「麗」恆星唯一獲得確認的行星，它是在 2011 年日韓合作的觀測計畫中，以「徑向速度法」發現的。這次臺灣的系外行星命名獲得不少響應，共獲得 128 個提案，命名委員會最後從中選 5 個，再經參與投票的 6101 人，票選出「水沙連—麗」這組。

2019 年適逢聯合國原住民語言國際年，不少國家的命名主題都取用原住民語言的元素，

除了臺灣的水沙連以外，日本也是用了國境最南和最北的兩個原住民語言——沖繩語和愛努族語，將神靈命名為系外行星及母恆星。同樣走「神話路線」的還有中國，是以日神「羲和」、月神「望舒」分別為恆星和行星名稱。

香港則是以當地著名山丘命名（獅子山—太平山）。南韓也是取「最高山」命名法，分別依北韓最高山「白頭山」（是中韓邊界山，也就是中國「長白山」）和南韓最高山「漢拏山」命名。

哥倫比亞搬出的是國寶作家，諾貝爾文學獎得主加西亞馬

奎斯在「百年孤寂」一書中的主角——「麥魁迪」當作行星名，而小說主要發生的地點「馬康多」，則為其恆星名。在歐洲，奧地利選用了 1955 年的經典電影「茜茜公主」的男女主角，也就是奧匈帝國的法蘭茲約瑟夫皇帝和茜茜皇后。波蘭的恆星行星名則獻給一本知名科幻小說索拉力星（Solaris）及其人物皮爾克司（Pirx）。

國際天文聯合會（IAU）藉舉辦這項活動，希望地球人能團結在一起，擴大對天文的認識和欣賞。國際天文聯合會表示：「這項活動有助於全人類團結，一起探索宇宙。」

天間季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。來信請寄至：「臺北市羅斯福路四段 1 號 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天間季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天間季報上刊登喔！



發行人 | 朱有花。執行主編 | 周美吟。美術編輯 | 王韻青、楊翔伊。執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆、蔣龍毅。
發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所。天間季報版權所有 | 中研院天文所。ISSN 2311-7281。GPN 2009905151。
地址 | 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓。（臺北市羅斯福路四段 1 號）。
電話 | (02)2366-5415。電子信箱 | epo@asiaa.sinica.edu.tw。